

気象と海況に関する研究—Ⅳ

那珂湊沿岸に於ける波浪について（第4報）

I 風 波

鬼 沢 洋 一

I 序

最近地元において餌鰯の蓄養を始めようという話がもち上り県の水産試験場が中心となつて実験を試みることになつた。之は鉄製の15cm角、長さ3.3mの中空の角柱をパイとして直径約8mの八角形の囲みをつくり、その下に網をつけて鰯を飼うのであるが、その実施にあつては鰯に対しても、又構造物に対しても種々の制約的条件が数多くあることはまぬがれない。その一つに海面状態即ち波浪の問題が入ってくるのであるが、年間の実施計画の上からも波浪の統計的調査が望まれており、その他種々の海上作業計画のこともあるので、今迄の観測資料を若干まとめて大方の参考に供することにした。波浪と気象との関連性についてはすでに才1報～才3報に記したので此処では触れないことにする。尚、波浪に対する構造物の耐久性については水産試験場で目下研究中なので何れ明らかにされることと思う。

II 資 料

波浪の資料としては当所で毎日9時（1回）に観測したものをを用いた。観測方法は目測で才1表の様なダグラス階級（之には若干観測上の問題点があるので後述する）を採用し、風浪とウネリとに分けて観測した。統計年数としては昭和28年から昭和34年まで7カ年あるが昭和31年以前のものを採用すると観測者が異なる為、個人誤差の影響が大きくなるおそれがあるのでやむをえず昭和31年から昭和34年までの4カ年のものをを用いた。この中には欠測した日も若干あつたが之は修築事務所の観測資料を参考として一応補つておいた。然し何分にも統計年数が極めて短いため思う様な統計操作が出来ず観測精度も低いので概ね、観測値の記載にのみとどまつてしまつた。

才1表

風浪階級	風 浪 階 級 の 説 明	波 の 高 さ (単位はm)
0	油を流したように滑かである。	Dead Calm 0
1	おだやか、さざなみがある。	Very Smooth 0から0.5未満
2	滑か、小さな風浪がある。	Smooth 0.5以上1未満
3	稍波がある。	Slight 1～2
4	かなり波がある。	Moderate 2～3
5	稍高い波がある。	Rather Rough 3～4
6	かなり高い波がある。	Rough 4～6
7	相当荒れている。	High 6～9
8	非常に荒れている。	Very High 9～14
9	異状な状態（台風の中心域で見られるような場合）	Phenomenal 14以上

ウネリ階級	ウネリ階級の説明	
0	ウネリがない	No Swell
1	短く又は中位の弱いウネリ (波高 2 m 以上)	Slight Swell
2	長く弱いウネリ (波高 2 m 以下)	Moderate Swell
3	短く, 稍高いウネリ (波高 2 m から 4 m 以下)	Rather Rough Swell
4	中位の稍高いウネリ (波高 2 m から 4 m 以下)	Rough Swell
5	長く, 稍高いウネリ (波高 2 m から 4 m 以下)	Heavy Swell
6	短く, 高いウネリ (波高 4 m をこえる)	Very Heavy Swell
7	中位の高いウネリ (波高 4 m をこえる)	Abnormal Swell
8	長く高いウネリ (波高 4 m をこえる)	"
9	二方向以上からウネリがきて海上が混乱している場合	
「短く」とは波長 100 m 以下 (周期 8.1 sec. 以下) の程度をいう。		
「中位」とは波長 100 m から 200 m 以下 (周期 8.1 sec から 11.3 sec まで) の程度をいう		
「長く」とは波長 200 m をこえる場合 (周期 11.4 sec 以上) の程度をいう。		

III 風浪について

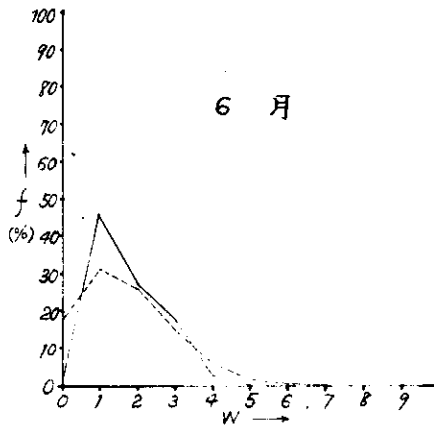
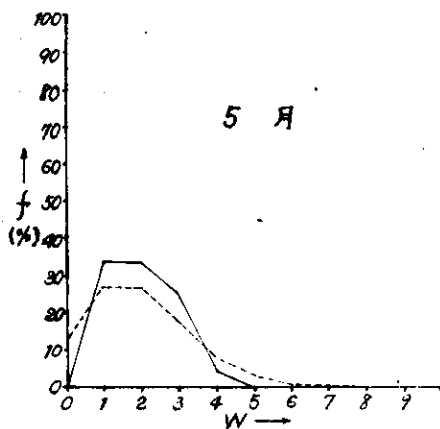
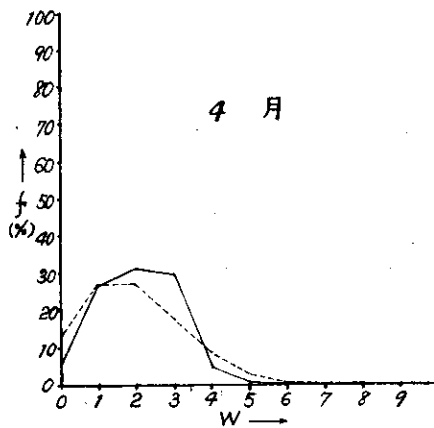
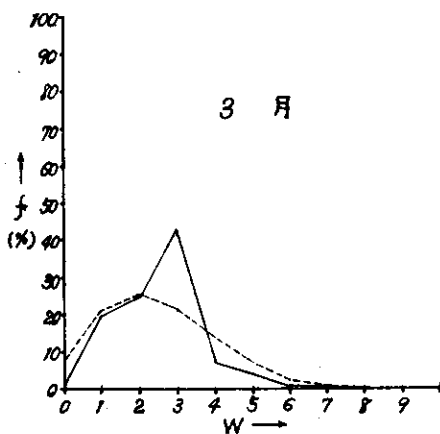
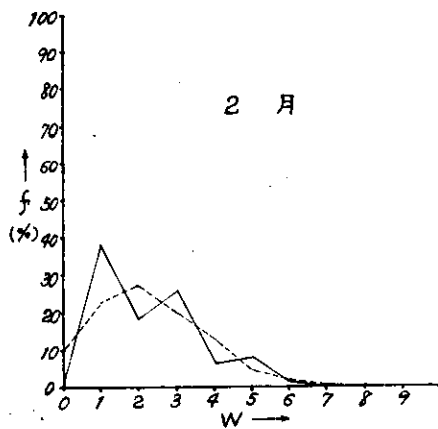
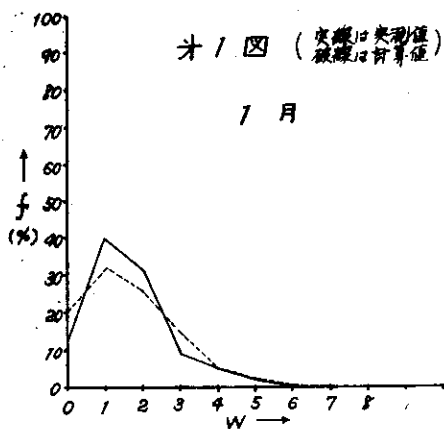
1 風浪の頻度分布型について

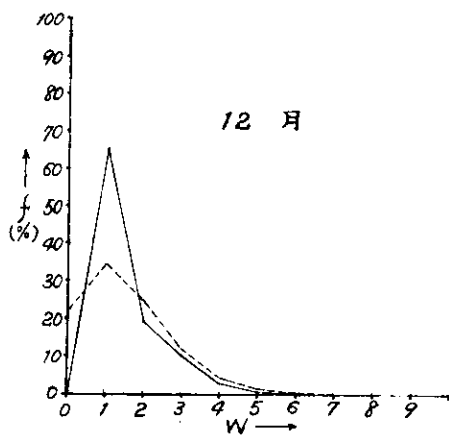
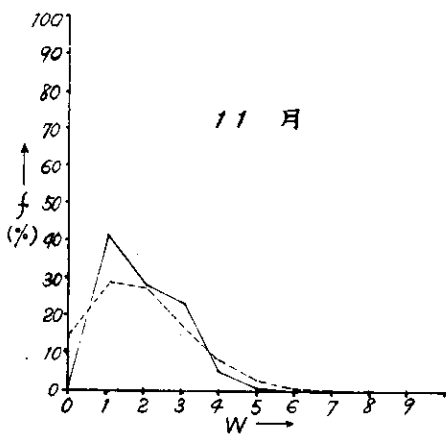
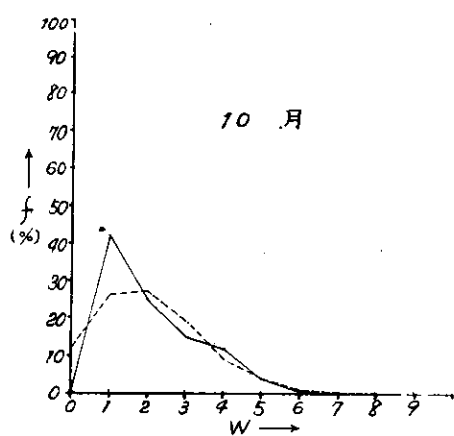
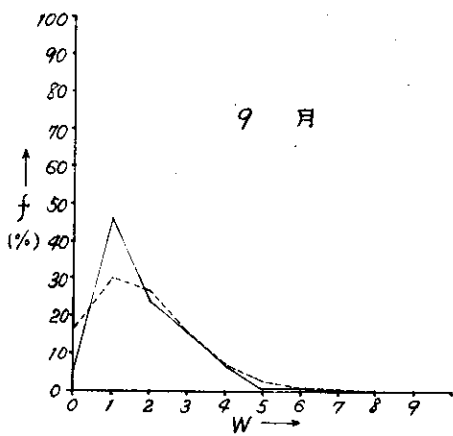
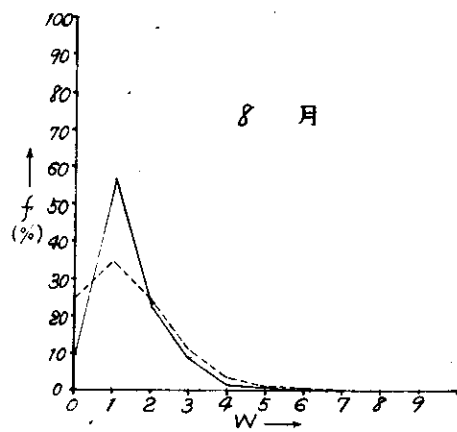
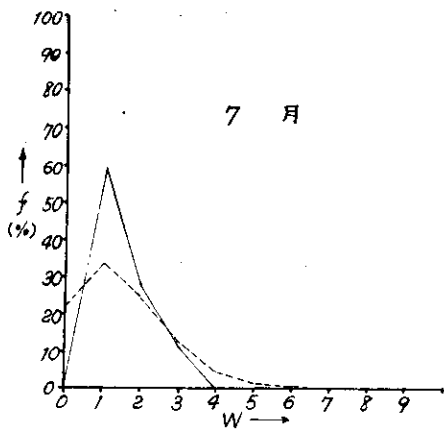
風浪は風のエネルギーの供給をうけて発生し, 発達する以上風と同様の季節的変化があることは明らかである。そこで頻度分布型とその季節的特徴をみるため才 1 図に風浪の月別頻度分布を示してみた。(実線のもの, 破線については後述する。) 之によれば現象の性質上当然のことながら最頻値は左に片寄り階級 1 の頻度が最も大きく分布は正規型を示していない。然し 3 月は最頻値が階級 3, それから 4, 5 月は階級 2 の処にでて他の月より右方につれた分布となつているが概ね頻度分布は Poisson 型であらわすことが出来るのではないかと思われる。そこで頻度の全年値について Poisson 分布をあてはめてみると, 変量として風浪階級を W で表わせば, 之は勿論離散型で正の整数値をとるわけであるがその分布 $P(W)$ は次式で表わすことが出来る。即ち

$$P(W) = e^{-m} \cdot \frac{m^W}{W!} \dots\dots\dots \{ W=0, 1, 2, \dots\dots\dots \infty \text{ (実際には 9 まで)} \}$$

上式による計算結果を才 2 表に示す。表中 m は平均値で 1.866 となり, 之より $W=0$ のときの $P(0)$ は $P(0) = e^{-m} = 0.1547$ となる。そして才 2 表の数値により才 2 図に突測値と計算値とをプロットし両者の頻度分布を比較してみた。之をみると大体分布の形状は一致している様であるが突測値の方が計算値の方に較べて階級 0 の頻度が少く, 階級 1 の頻度が多くなつていることが目立つ。之はおそらく才 1 表を見れば明らかな様に, 目測の精度と現象の性質上, 現階級では 0 と 1 (1 でも波高が 0 に近い場合) とを区別することが困難な場合が往々にしてあるため 0 とすべきところを 1 とした結果であろうと思われる。従つてこの点を補正すれば風浪の頻度分布としてはやはり Poisson 型と考えれば, まづ良いのではないかと思う。

才1図 (実線は実測値、
破線は計算値)

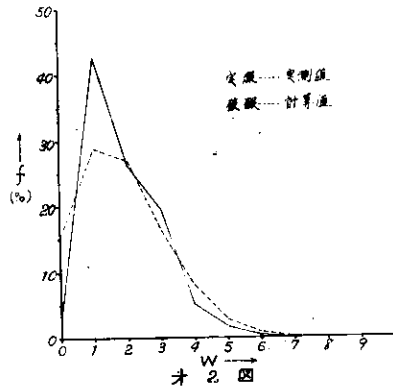




オ2表

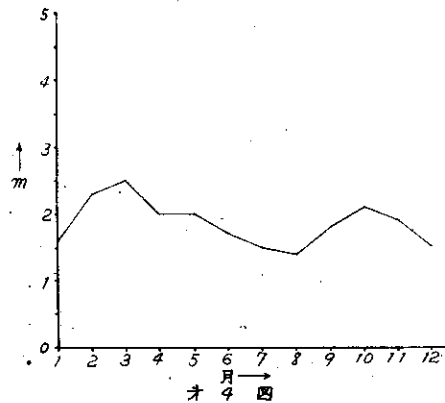
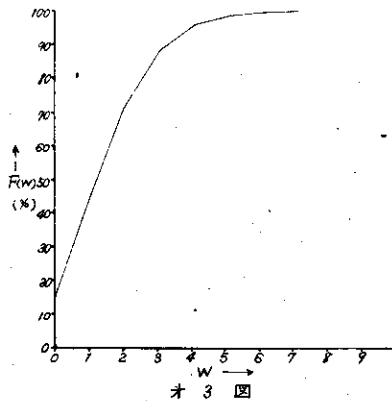
m = 1.866

W	f (%)	P (W)	Σf · P(W)
0	3.7	0.1547	15.5
1	42.9	0.2887	28.9
2	26.4	0.2694	26.9
3	19.7	0.1676	16.8
4	5.1	0.0783	7.8
5	1.8	0.0295	3.0
6	0.4	0.0092	0.9
7	0.0	0.0025	0.2
8	0.0	0.0006	0.0
9	0.0	0.0001	0.0
Σ	100.0		100.0



次に以上のデータにより累積頻度分布 $F(w) = \sum_{\sigma \leq k \leq (w)} e^{-m} \frac{m^k}{k!}$ を求めてみるとオ3図の様になった。

之によれば階級3 ≤ の頻度は年間を通して約3割近くになり（図の読み方注意を要する）之は海上作業の年間計画をたてる場合には充分考慮しなければならないことである。尚頻度分布の形状の季節的变化は当然mの値によつてきまつてくるのであるがオ4図に月別のmの値の変化を示してみた。之によれば海上が一番荒れるのは3月（10月にもピークがある）で一番穏かなのは8月ということになる。（ここではウネリは考えていない。然し実際には風浪の観測値にも含まれている公算が大きい。）そして又、之は8月中に作業計画をたてる場合には大体台風だけの影響を考えればよいということの意味しているものと思う。mの値により順位をつければオ3表のとおりである。



又、才4図のmの値から各月のPoisson型頻度を計算してみると、才4表の様になつた。ここではmの値は、小数才一位までにとどめた。尚実測値と比較のため才4表の値を才1図中にプロットして破線で結び才5図には計算値による月別の累積頻度を示した。

才 3 表

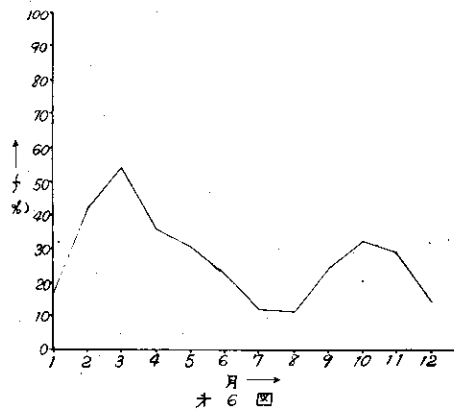
順位	月	m	順位	月	m
1	3	2.5	6	9	1.8
2	2	2.3	7	6	1.7
3	10	2.1	8	1	1.6
4	4 5	2.0	9	7 12	1.5
5	11	1.9	10	8	1.4

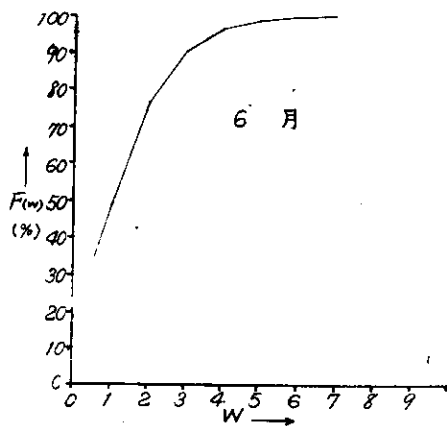
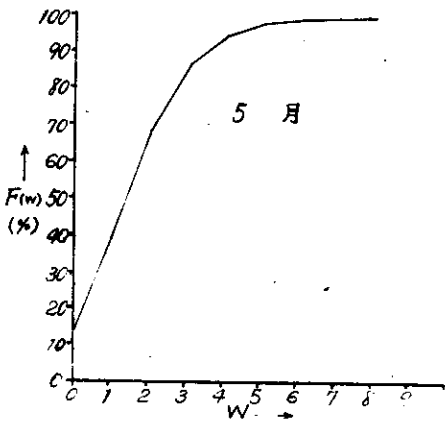
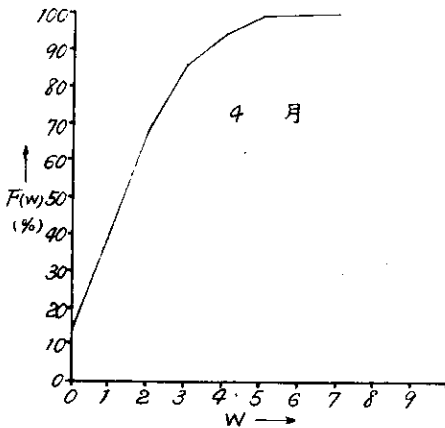
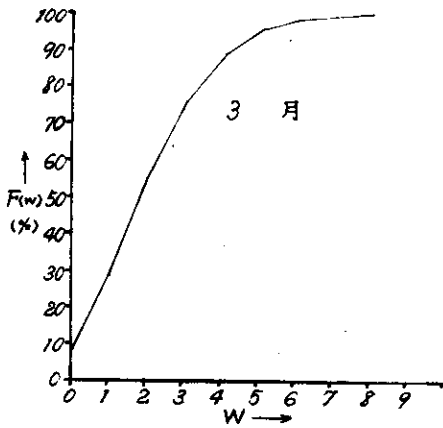
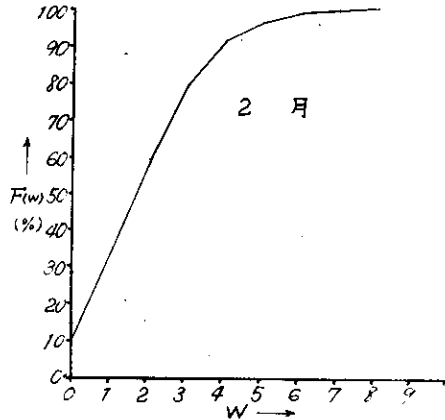
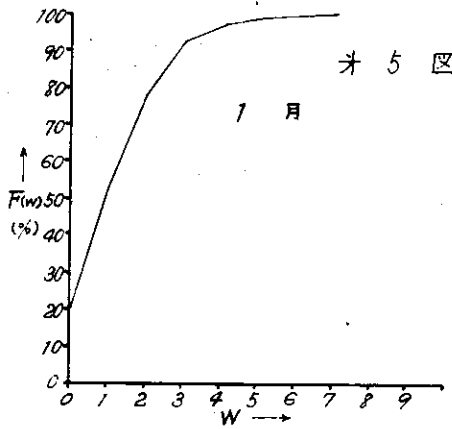
才 4 表

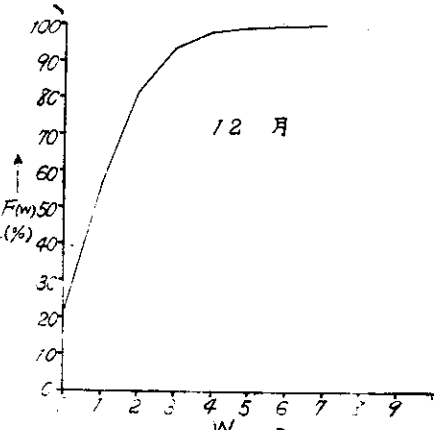
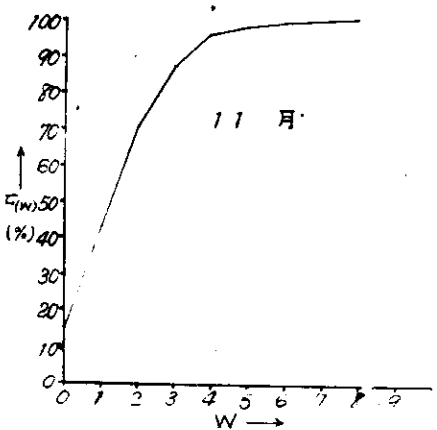
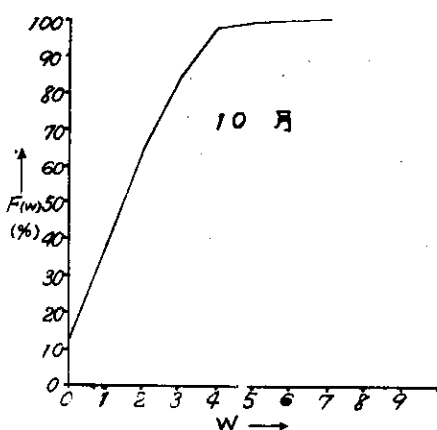
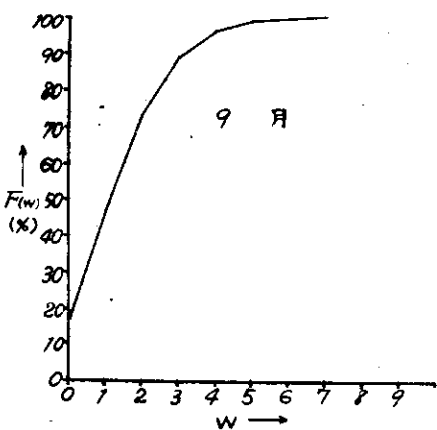
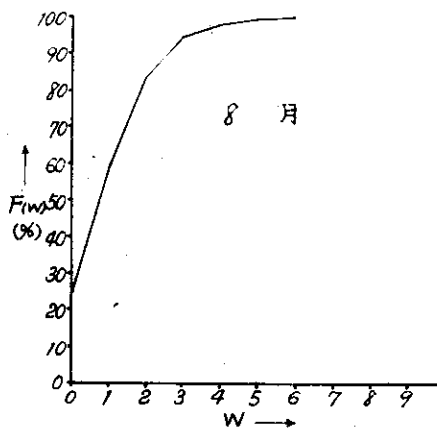
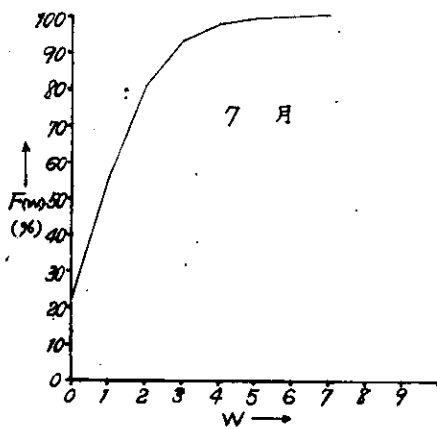
目 W	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
0	20.2	10.0	8.2	13.5	13.5	18.3	22.3	24.7	16.5	12.3	14.9	22.3	15.5
1	32.3	23.1	20.5	27.1	27.1	31.0	33.5	34.5	29.8	25.7	28.4	33.5	28.9
2	25.8	26.5	25.7	27.1	27.1	26.4	25.1	24.2	26.8	27.0	27.0	25.1	26.9
3	13.8	20.3	21.4	18.1	18.1	15.0	12.5	11.3	16.1	18.9	17.1	12.5	16.8
4	5.5	11.7	13.4	9.0	9.0	6.4	4.7	3.9	7.2	9.9	8.1	4.7	7.8
5	1.8	5.4	6.7	3.6	3.6	2.2	1.4	1.1	2.6	4.2	3.1	1.4	3.0
6	0.5	2.1	2.8	1.2	1.2	0.6	0.4	0.3	0.8	1.5	1.0	0.4	0.9
7	0.1	0.7	1.0	0.3	0.3	0.1	0.1	0.0	0.2	0.4	0.3	0.1	0.2
8	0.0	0.2	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Σ	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

2 階級3≤の頻度の年変化

今迄の経験によれば階級3≤は那珂川河口を出入する漁船(大, 中型)がその航行に際して一応警戒しなければならない限度の目安であり, 又前述のような海上における構造物に対しても同様のことが考えられるので, まずこの階級の年変化を調べてみた。之を才6図に示す。勿論比較的穏かと思われる階級2≤の頻度は3≤の頻度を100(%で表わしたため)から差引けば得られる訳である。才







6図を見れば明らかな様に peak は年に2回、3月と10月つまり春秋にでており、之はオ4図のmのpeakと一致している。即ち、風浪による海上作業の可能限界を階級くるとすれば3月等は約16日、7、8月は約4日は作業が出来ないということになる。尚 peak が3月と10月というのは他の月に比べて低気圧の発生及び通過する頻度が大きく、発達する可能性も大きい月であり、之は今迄の統計の示す通りである。

3 階級3≤の持続日数の発現頻度について

風浪階級 (W) が3≤の発現頻度が年平均3割位あるということは前にも述べたが、海上作業の継続性を考慮した場合は持続日数についてもその程度を知っておかなければならない。そこでWが3≤の持続日数別の発現頻度を1956年(昭31)から1959年(昭34)までの4カ年間について調べ、その年平均を求めてみるとオ5表の様になった。

オ 5 表

持続日 (n)日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	計
回数	19.00	8.50	3.75	3.00	2.50	1.50	0.75	0.25	0.00	0.25	0.25	0.50	0.00	40.25
%	47.2	21.1	9.3	7.5	6.2	3.7	1.9	0.6	0.0	0.6	0.6	1.3	0.0	100.0
Σ (%)	47.2	68.3	77.6	85.1	91.3	95.0	96.9	97.5	97.5	98.1	98.7	100.0	100.0	100.0

オ5表中の発現頻度 f (%) をプロットしてみるとオ7図の様な curve が得られる。この分布型は一見して正規型でないことは明らかであり、

Poisson 型も考えられるが n の平均値が比較的大きく (この curve にしては)、その割には n の小さい方の f が大きく、又 n の大きい方まで curve が尾を引いて仲々 f が 0 にならないので之もあてはまらない。然し curve の形状でもわかる通り一応指数函数的に減少しているらしいので次の方程式を仮定してみる。……尚 n = 12 日に小さな peak がでているが之はおそらく mechanism の異なるものであろうと思われる。……

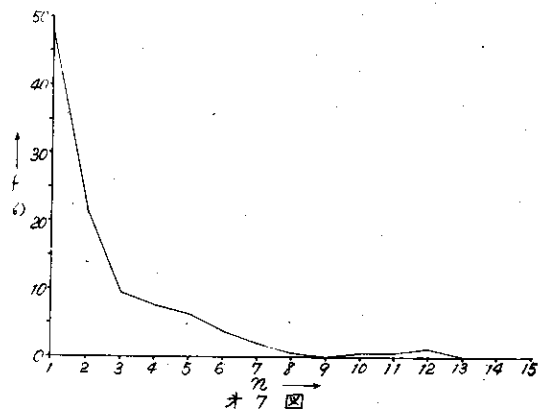
$$\text{即ち } \frac{df}{dn} = -\lambda f \quad \text{とおくと}$$

この解は明らかな様に

$$f = c \cdot e^{-\lambda n}$$

$$\therefore \log f = \log c + (-\lambda n) \log e$$

普通は n = 0 のところが、ここでは 1 になって



いるから上式は

$$\log f = \log c - 0.43429448\lambda(n-1)$$

と変形しなければならない。そして最小二乗法で λ と c を求め、 $\lambda=0.483$ 、 $c=35.9$ を得た。

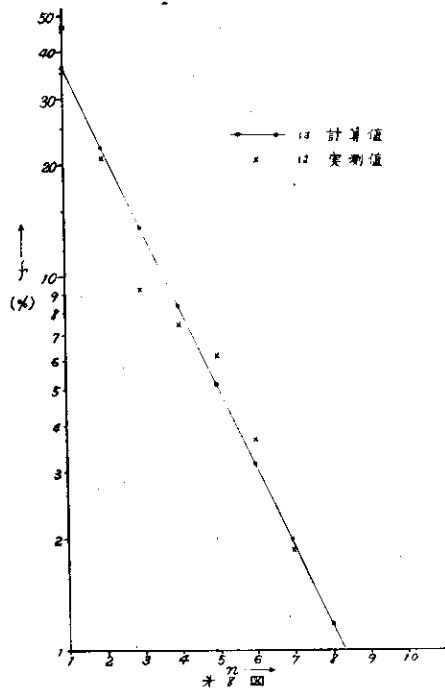
即ち

$$f = 35.9 e^{-0.483(n-1)}$$

$$\text{又は、} \log f = 1.55508 - 0.20972(n-1)$$

となる。

この式による計算値をオ8図の片対数方眼紙にプロットして実測値と較べてみると多少のバラツキはあるが、大体一致しているものと見做してよいと思う。尚、前に $n=12$ 日の処で小さなpeakがでており、之は mechanism が異なるのではないかということを一述べておいたが、持続日数 n の取扱い上、次の月に連続してまたがついていても、それは一応不連続として月毎に n を求めたので、この影響が $n=12$ の処の peak や $n < 12$ の f にもでているのではないかと思われる。然しこの問題については之以上こゝでは触れないことにする。持続日数の発現頻度の年変化については統計期間が短くデータが少ないため明確には出来ないが階級が $3 \leq$ の頻度が大きい月程、持続日数の大きなものが現われており4カ年間に於ける月別の最大持続日数をまとめるとオ6表のようになる。



オ 6 表

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
最大持続日数	4	12	11	6	1	4	6 (2)	4	6	10	12 (5)	5

この表の中で7月の6日と11月の12日はいささか数値が大きすぎる様であり、之は持続日数の頻度分布をみると不連続的にとびはなれている場合で()内の数値が適当と思う。

4 風波の減衰について

以上で特定階級の風波の持続性については大方のことを知ることが出来たが次に問題になることは風波の減衰である。ここでは減衰の理論はさておき、統計結果を示して、若干その変化過程を考察し

てみることにする。然し前以つて注意しておかなければならないことがある。それは観測の対象を一応風波とウネリとに分けているが、海面が混沌としてくると実際には両者をはつきり区別しかねる場合が多々あり、そのようなことが之からの計算結果にも現われているかも知れないことであるが一応風波の減衰として扱つておくことにする。データの処理に際しては、まず一連の観測値から階級が $4 \leq$ のものを選びだしその様な極大値がでてから順次階級が減少して極小になつた日か、或いは平衡状態になつて次の極大値がでる前日までを一減衰過程とみなして取扱つた。この様にして4か年のものをピック・アップすると $W=6$ で始まつたものが5例、 $W=5$ のものが13例、そして $W=4$ のものが36例で計54例あつた。又月別の減衰例をみるとオ7表のとおりでオ6図と傾向が大体一致するが之は当然のことであろう。

オ 7 表

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
回数	5	8	7	5	4	3	1	3	4	8	4	3	54

之等の月別の減衰曲線をプロットすると大変複雑になつて法則性を引出すことが困難であるのとデータが少ないため季節の特徴を見出すことが無理であるためオ1報に於いて述べたように $W=f(t_D)$ として階級別に上記の例について減衰日毎に逐次算術平均をとつてみた。勿論減衰日数が不揃いで平均を求めること水無理と思われる場合は除いた。この様にして算出した結果をオ9図に示す。之をみると $W=5$ の場合の減衰が $W=6$ と $W=4$ の場合に較べて大きい様であるが、はつきりした原因はまだ調べていない。おそらく統計箇数を増せば後者と同じ傾向を示すものと思う。 $W=6$ と $W=4$ の場合は減衰傾向がよく似ている。さて以上のデータをもとにして $\frac{dw}{dt_D} = f(W)$ とおき

$$\frac{dw}{dt_D} = -\lambda W \quad \text{とすれば}$$

$$\text{解は } W = C \cdot e^{-\lambda t_D}$$

となり、前の持続日数の頻度と同様の式になる。そして夫々 λ を求めれば

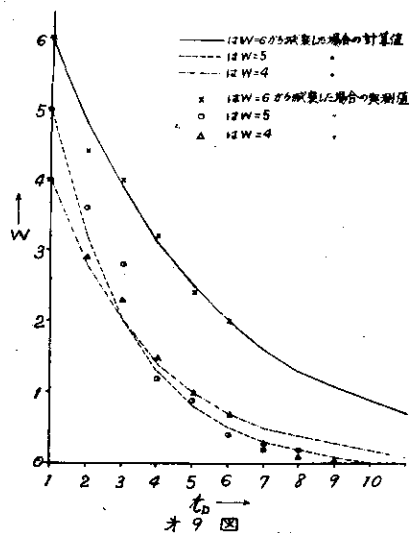
C 即ち $W=6$ で減衰が始まつた場合は

$$\dots\dots\dots \lambda = -0.217$$

$W=5$ で減衰が始まつた場合は

$$\dots\dots\dots \lambda = -0.453$$

$W=4$ で減衰が始まつた場合は $\dots\dots\dots \lambda = -0.343$ となつた。



やはり $W=5$ の λ が大きくていてる。そして階級別の実験式は次の様になる。

$$W=6 \text{ の場合は } \dots\dots W=6 e^{-0.217(t_D-1)} \quad \text{又は } \log W = 0.7781513 - 0.0941160(t_D-1)$$

$$W=5 \text{ の場合は } \dots\dots W=5 e^{-0.453(t_D-1)} \quad \text{又は } \log W = 0.6989700 - 0.1967354(t_D-1)$$

$$W=4 \text{ の場合は } \dots\dots W=4 e^{-0.343(t_D-1)} \quad \text{又は } \log W = 0.6020600 - 0.1489630(t_D-1)$$

ここでは W のmaxの起日は1日と数えているから翌日の t_D は2となる。この考え方でいくと数式的に $t_D=0$ の処が1になってしまうから之は t_D-1 として取扱つた。尚上記の式による計算値をオ9図にプロットして実測値と比較してみたが大體一致するようである。 λ の値は W が小さくなる程その絶対値が大きくなる様にも考えられるし、又季節的にも変化があるものと思われるが、データが乏しいため明確にすることが出来ない。もつとも、 W が4~6の範囲では一応 λ の平均をとつて-0.338として取扱つても実用的には良いと思われる。然し之等の値は4カ年間の個々の減衰例の平均であるため実際の使用に当つては天気図でよく浪源の移動経路や消長過程を考慮する必要がある。

5 結 び

以上余りまとももつかないが目測によるデータでも相当役に立つのではないかと思つている。殊に秋刀魚漁の時期即ち10月頃に風浪階級3 \leq の頻度のpeakがでていることは当那珂湊港を利用するものにとつて充分考慮しておかなければならないことであろう。それがらダグラス階級のことであるが該階級が目測を主体とする以上、又海面現象の性質からいつても階級0の波高を0とせず0から或る特定の波高例えば0.2m位までの範囲で規程するのが良いのではないかと思う。尚ウネリについても風波と同様の調査をしたが、ウネリ階級は内容的に非常にroughで風波の様に波高のみでなく、波長も入ってくるので取扱上更に研究を要するため後日にゆづつた。今後このささやかな資料が海上作業計画の上に幾分でも役に立てば望外の喜びである。